

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en tecnologies industrials

Estudi per a fer una instal·lació solar fotovoltaica al Campus Sud

MEMÒRIA

Autor: Marc Brossa Gonzalez
Director: Roberto Villafáfila Robles
Convocatòria: Juny 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Les energies renovables són els mètodes d'obtenció d'energia que cal tenir en un futur ja sigui llunyà o proper. En un edifici com és la universitat pública és vital que poc a poc pugui abastir-se d'energia produïda per ella mateixa.

El Campus Sud ja tenia instal·lacions solars fotovoltaïques, però no connectades a xarxa, i aquest era el objectiu del nostre projecte, que es centra en l'ETSEIB per qüestions pràctiques. Finalment es situa la instal·lació als pavellons D, E i F degut a la gran exposició a la radiació solar que tenen i el seu fàcil accés. Les pèrdues per ombres són gairebé nul·les

Es dimensiona la instal·lació mitjançant les eines de les que es disposen tot i no ser del tot exactes. Les files de plaques estaran col·locades transversals a la coberta, tot i no ser la seva posició òptima i aniran inclinades 30°. Les pèrdues d'aquesta configuració són mínimes. S'ha calculat que hi haurà 100 plaques pel pavelló D que ens permetran obtenir una potència de 30,1 kW, 75 plaques pel E amb 22,6 kW de potència i 90 plaques amb 27,1 kW de potència pel F.

Degut a les elevades intensitats i voltatges de cada conjunt ens veurem obligats a utilitzar 3 inversors, que seran del mateix model. Utilitzarem 555m de cablejat, amb dues seccions diferents segons el tram corresponent.

S'ha calculat la energia proporcionada per cada pavelló de manera analítica i amb el simulador del PVSyst, aquests dos càlculs han sigut molt semblants i veiem que la instal·lació pot proporcionar anualment 114,5 MWh. Així doncs, es veu que les superfícies usades poden proporcionar-nos molta energia si es munta un bon sistema fotovoltaic.

Finalment, amb un petit estudi econòmic hem pogut veure la viabilitat del projecte, que necessitaria d'una bona inversió però que seria fàcilment recuperable amb pocs anys, comparat amb la durada que pot tenir aquesta instal·lació si se'n fa un bon manteniment.

Sumari

SUMARI	5
1. GLOSSARI	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Origen i motivació del projecte.....	9
2.2. Objectius del projecte.....	10
2.3. Abast del projecte	10
3. ENERGIA FOTOVOLTAICA	13
3.1. Corba de funcionament.....	14
3.2. Tipus d'instal·lacions fotovoltaïques	15
3.2.1. Instal·lacions fotovoltaïques aïllades.....	15
3.2.2. Instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa.....	15
3.2.3. Instal·lacions fotovoltaïques híbrides	16
3.2.4. Instal·lacions fotovoltaïques compostes	16
3.3. Situació global	17
4. PROJECTE TÈCNIC	19
4.1. Situació inicial.....	19
4.1.1. Localització final del projecte	20
4.2. Legislació	23
5. INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA	25
5.1. Determinació de l'angle d'orientació	25
5.2. Determinació de l'angle d'inclinació	26
5.3. Pèrdues degut a l'angle d'orientació i inclinació	27
5.4. Pèrdues per ombres.....	28
5.5. Plaques solars fotovoltaïques utilitzades	32
5.6. Distribució de les plaques a la coberta	34
5.6.1. Determinació de la distància entre plaques	34
5.6.2. Distribució de les plaques a cada pavelló	36
6. CONNEXIÓ I ELEMENTS DE LA INSTAL·LACIÓ	39
6.1. Connexió dels panells solars	39
6.2. Inversor	42
6.3. Cablejat	44
6.3.1. Connexió entre plaques	45

6.3.2.	Connexió entre les plaques i l'inversor	45
6.3.3.	Connexió de l'inversor a xarxa.....	46
7.	ESTRUCTURES DE SUPORT I ANCORATGE	47
7.1.	Ancoratge	48
7.2.	Sobrecàrrega de la coberta	49
8.	MANTENIMENT	51
9.	PRODUCCIÓ ENERGÈTICA	53
9.1.	Mètode analític	53
9.2.	Comparació dades obtingudes.....	55
10.	IMPACTE AMBIENTAL	57
11.	ESTUDI ECONÒMIC	59
	CONCLUSIONS	63
	AGRAÏMENTS	65
	BIBLIOGRAFIA.....	67
	Referències bibliogràfiques.....	67
	Bibliografia complementària.....	68

1. Glossari

LED: Light-Emitting Diode.

ETSEIB: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

UPC: Universitat Politècnica de Barcelona.

IEA PVPS: International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

CC: Corrent Continu

CA: Corrent Altern

IOC: Institut Obert de Catalunya

Cdt: Caiguda de tensió

ICAEN: Institut Català de l'Energia

PR: Performance Ratio

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.

RD: Reial Decret.

2. Introducció

2.1. Origen i motivació del projecte

Un dels motius pel qual vaig triar fer enginyeria en tecnologies industrials és perquè era bastant generalitzada i incloïa coneixements de diferents branques dins la enginyeria. Un cop realitzades totes les assignatures del grau he anat veient quines m'agradaven més i quines no em motivaven tant. Va ser en aquestes assignatures que m'havien interessat més i els seus departaments en les que vaig basar la meua tria a l'hora d'aplicar a les ofertes de la borsa de treballs de fi de grau.

La vessant elèctrica sempre ha sigut del meu interès, tant la part més teòrica com la pràctica. Així que vaig posar-me en contacte amb el Roberto Villafáfila, i ell em va proposar un projecte sobre el nou sistema d'il·luminació LED de la ETSEIB, era una proposta que em cridava molt l'atenció, a més de tenir coneixements previs sobre LEDs i la vaig acceptar. Finalment aquest projecte degut a que la planificació de la instal·lació dels LEDs no s'ajustava a la del treball, vam haver de canviar de tema. Vam doncs, redirigir el treball cap a la l'estudi d'una instal·lació fotovoltaica, també per la UPC.

Les noves fonts d'obtenció d'energia, com és la fotovoltaica, que anomenen energies renovables sempre havien sigut del meu interès, ja n'havia tractat el tema al batxillerat així que en tenia coneixements previs que podrien ajudar-me a la realització del treball.

A més la electricitat és un tema molt present en la societat i de vital importància. Tant pel present com pel futur la electricitat té moltes utilitats i es pot explotar molt, és per això que és una temàtica que em crida molt l'atenció i a la que m'agradaria entrar en més profunditat.

2.2. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és avaluar el potencial i elaborar el predisseny d'una futura instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa situada al campus Sud de la UPC.

Caldrà:

- Veure quines opcions i possibilitats hi ha pel que fa a instal·lacions fotovoltaiques i analitzar-les per tal de escollir quina s'ajusta a les necessitats del projecte.
- Conèixer i estudiar els diferents factors que afecten al dimensionament de la instal·lació, és a dir
- Fer un disseny de la ubicació i posició del sistema per tal de treure'n el màxim rendiment a base de calcular i estudiar els factors claus per un sistema fotovoltaic.
- Analitzar i calcular tot el que es coneix com a part elèctrica, els components, les connexions i el cablejat.
- Realitzar un estudi econòmic i una estimació del pressupost és fonamental ja que és un projecte que pot acabar sent important i es podria desenvolupar en un futur.

2.3. Abast del projecte

L'estudi que es farà en aquest treball es podria dir que consisteix en un predisseny per tal de que després es pugui utilitzar o es faci servir de referència.

Per això, dins del campus Sud, lloc on es vol instal·lar les plaques fotovoltaiques, s'ha triat fer-ho a l'ETSEIB, l'escola on el autor del treball estudia, i el tutor hi treballa. Aquest fet ens permet disposar de més dades, a més a més dels



coneixements inicials que ja tenim pel fet d'haver-hi estat certs anys.

Cal tenir en compte també, que les dades i plànols que es disposa es limitada i per tant s'han utilitzat d'altres mètodes per tal de poder fer el dimensionament de la instal·lació.

3. Energia fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica és una font d'energia d'origen renovable que ens permet a partir de la radiació emesa per el sol obtenir electricitat, mitjançant l'efecte fotovoltaic.

Aquest efecte es descriu com la capacitat d'alguns materials per absorbir fotons de llum solar, que exciten els electrons dels àtoms, fent que alguns d'aquests escapin de la seva posició natural per format un corrent en un circuit elèctric, és a dir, electricitat.

Al ser una energia renovable té les avantatges que les caracteritzen com:

- Mínim impacte ambiental
- Font inesgotable d'energia, en aquest cas, la llum solar.
- Gran flexibilitat, pot utilitzar-se ja sigui per grans plantes o per instal·lacions d'autoconsum; o bé, en zones urbanes i poblades o rurals i aïllades. [1]

El pas de radiació solar a l'electricitat es fa mitjançant un dispositiu semiconductor anomenat cèl·lula fotovoltaica. La cèl·lula solar fotovoltaica més habitual és una làmina de silici cristal·lí d'un gruix aproximat de 0,3 mm. Aquesta està dotada d'uns contactes elèctrics per poder canalitzar l'energia que produeix quan és il·luminada. Hi ha dos contactes principals i, a més, hi ha les ramificacions que els uneixen per recaptar millor els electrons en tota la superfície de la cèl·lula. [4]

3.1. Corba de funcionament

La cèl·lula solar és un generador de corrent. Això és molt important a l'hora d'entendre com afecten les variacions de voltatge o temperatura de treball i la radiació incident en el comportament de la cèl·lula. La corba voltatge-intensitat ens permet observar el comportament i veure els punts característics d'aquest. Observant el gràfic I-V, ens podem adonar fàcilment que a cada valor de voltatge de treball li correspon una intensitat de sortida.

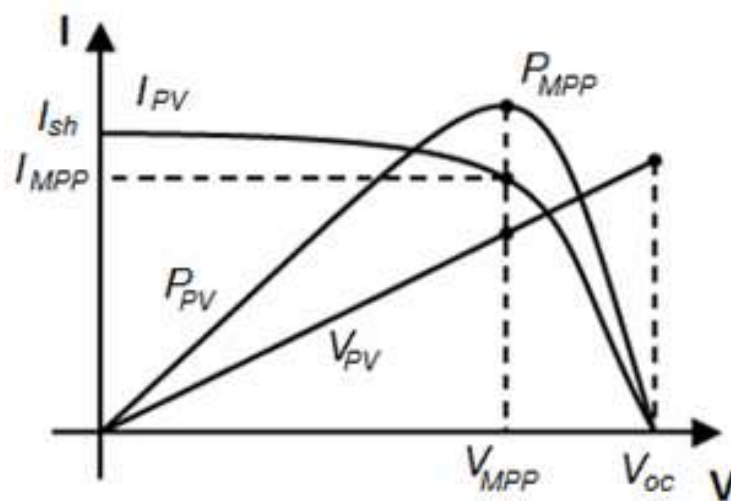


Figura 1 Gràfic de funcionament de l'energia fotovoltaica. Font: SciELO

Geomètricament, cada valor de potència representa la superfície del rectangle format per les dimensions I-V. Entès això, és força senzill determinar que dels infinits rectangles que es poden traçar, n'hi ha un de superfície màxima. Aquest correspon al punt de treball anomenat punt de potència màxima i és clau a l'hora d'obtenir el màxim rendiment dels dispositius fotovoltaics.[3]

3.2. Tipus d'instal·lacions fotovoltaiques

Les instal·lacions fotovoltaiques les dividirem en tres tipus segons la seva estructura. Aquests tipus són: les aïllades, les connectades a xarxa i les híbrides.

3.2.1. Instal·lacions fotovoltaiques aïllades

Les instal·lacions aïllades són aquelles instal·lacions fotovoltaiques que no estan connectades a la xarxa de distribució elèctrica, i per tant funcionen de manera autònoma i per tant la electricitat generada serà per autoconsum. Alguns exemples de les aplicacions més comuns d'aquests tipus d'instal·lacions són: el consum elèctric d'habitatges, especialment en zones rurals, l'enllumenat públic, l'electrificació general en zones aïllades on la xarxa elèctrica no hi arriba i el bombeig i tractament d'aigua.

La configuració bàsica de les instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica està composta pel generador fotovoltaic, un regulador de càrrega i una bateria. La bateria és l'element encarregat d'acumular l'energia lliurada pels panells durant les hores de major radiació per al seu aprofitament durant les hores de baixa o nul·la insolació. El regulador de càrrega controla la càrrega de la bateria evitant que es produeixin sobrecàrregues o descàrregues excessives que disminueixen la seva vida útil. Amb aquesta configuració el consum es produeix en corrent continu. Aquest tipus de instal·lacions solen estar situades en habitatges, i per tant en aquest cas tenen un inversor per tal de transformar el corrent continu en altern, que és l'utilitzat en els habitatges privats. [4]

3.2.2. Instal·lacions fotovoltaiques connectades a xarxa

La principal característica d'aquest tipus d'instal·lacions és que el corrent elèctric generat pot ser transmès a la xarxa elèctrica com si fos una central de producció d'electricitat. El consum d'electricitat és independent de l'energia generada pels panells fotovoltaics. En aquests casos, l'usuari segueix comprant l'energia elèctrica que consumeix de la companyia distribuïdora al preu establert però a més és propietari d'una instal·lació generadora d'energia elèctrica que li permet tenir un consum d'electricitat més baix.

Aquest tipus d'instal·lacions s'aplica en plantes de producció, habitatges connectats a la xarxa de distribució elèctrica i en edificis on s'integren els sistemes en substitució d'elements arquitectònics.

Aquesta instal·lació no precisa de bateries com les aïllades. Així doncs, els elements imprescindibles són les plaques fotovoltaïques (generador fotovoltaic), el inversor i els comptadors, d'aquest últim se'n necessiten dos, un per quantificar la energia que es genera i s'utilitza i l'altre per mesurar el consum del inversor quan no hi ha radiació solar.[4]

3.2.3. Instal·lacions fotovoltaïques híbrides

Les instal·lacions híbrides podríem dir que són instal·lacions d'autoconsum però que quan l'energia generada és baixa degut a poca radiació solar, el sistema es nodreix de unes bateries de les quals disposa la instal·lació on s'ha emmagatzemat energia anteriorment.

3.2.4. Instal·lacions fotovoltaïques compostes

Són aquelles que combinen els mòduls fotovoltaïcs amb alguna altra font d'energia auxiliar. Sovint s'acostuma a instal·lar motors de gasolina o dièsel així com petits aerogeneradors. Aquest sistema és més fiable que els altres dos ja que s'assegura el subministrament d'energia inclús en moments puntuals en els que les bateries es queden sense energia i la producció solar no dona al abast. [5]

3.3. Situació global

Per tal de conèixer la situació mundial de l'energia fotovoltaica s'ha estudiat el últim informe realitzat per la IEA PVPS (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme).

En aquest informe veiem que al 2017, de manera similar a 2016, el mercat fotovoltaic va tornar a trencar diversos registres i va continuar la seva expansió global, arribant a gairebé el llindar dels 100 GW. Després d'un limitat desenvolupament global durant el 2014 i un lleu creixement del 25% al 2015, el mercat va continuar el seu creixement l'any 2016 i 2017. La raó principal és la contribució de la Xina amb el desenvolupament del PV representa gairebé el 54% de la capacitat total instal·lada el 2017.

Al continent americà, el descens del mercat estatunidenc està equilibrat pel Brasil que va instal·lar 910 MW el 2017. Un altre mercat que va créixer significativament va ser Xile, almenys amb 668 MW El Canadà es va mantenir estable respecte al 2016 (212 MW). Mèxic (uns 150 MW) també ho és progressant i hauria de convertir-se en un mercat massiu en els propers anys.

A Europa, Alemanya va confirmar la seva posició de lideratge en el continent i va instal·lar 1,8 GW el 2017. Alguns mercats europeus de mida mitjana es van mantenir estables com Suïssa (260 MW), Àustria (153 MW). I alguns dels mercats europeus que van experimentar un creixement de nou, com Bèlgica, que va instal·lar 284 MW i Espanya 147 MW. [2]

A la figura 2 es pot apreciar el constant creixement de les instal·lacions fotovoltaïques arreu del món. Com ja se sap les energies renovables prenen cada vegada més importància i a més s'acostuma a proporcionar ajudes per aquest tipus de instal·lacions. A més podem veure el gran augment que ha tingut Xina l'any 2017 respecte altres potències mundials com seria USA.

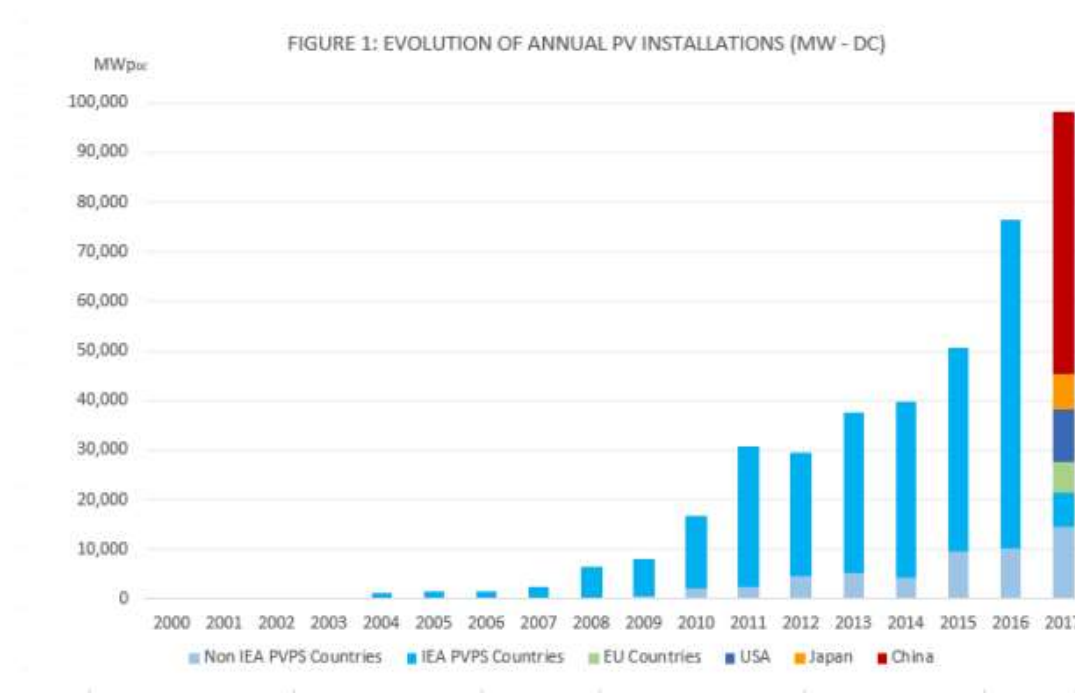


Figura 2. Evolució anual de les instal·lacions fotovoltaiques al món. [2]

4. Projecte tècnic

4.1. Situació inicial

Com ja s'ha mencionat a l'apartat 3.2, el projecte es situaria a l'ETSEIB, avinguda Diagonal 647 (08028, Barcelona), de la qual es tenia més dades i eren de més fàcil accés. Un cop decidit això, es van analitzar diferents localitzacions o maneres de realitzar el projecte.

La idea principal era ficar plaques solars damunt els diferents sostres dels que disposa la escola. Aquests sostres eren, el del edifici H, els dels pavellons D, E, F i G o els del LS. També es va proposar la idea de aprofitar els vidres de la paret oest del edifici H per tal de ficar-hi vidres fotovoltaics i d'aquesta manera aprofitar la gran quantitat de llum que rep aquesta banda. La gran quantitat de vidres i la altura que disposa aquest edifici feien que fos una bona idea, però el seu cost i complexitat la tornaven inviable per aquest projecte.

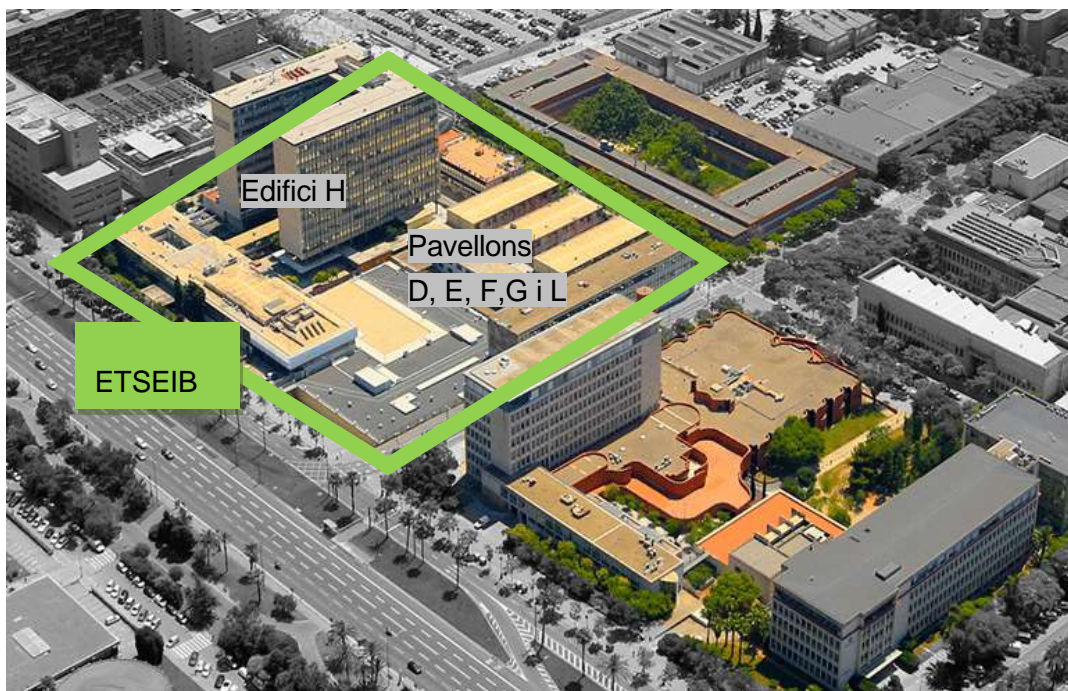


Figura 3 Vista aèria del Campus Sud de la UPC.

A la Figura 3 podem veure tot el Campus Sud. Observem que la ETSEIB és la

escola amb més superfícies per realitzar aquest projecte. Podem situar cadascun dels edificis i blocs mencionats anteriorment, veient que tenen una elevada exposició a la llum solar, i a més que tenen una gran extensió.

El edifici H és una bona localització per la seva altura i gran exposició a la radiació solar, però aquesta altura també dificultaria molt les feines d'instal·lació i manteniment de les plaques. A més disposa de varis obstacles.

Pel que fa els pavellons D, E, F i G són més baixos però tenen poques afectacions per ombra, a més són grans superfícies que permeten la instal·lació de plaques en una bona orientació. Tot i així el pavelló G també té varis obstacles

4.1.1. Localització final del projecte

Un cop analitzades les opcions s'ha triat els sostres dels pavellons D, E i F per tal de dur a terme el disseny de la instal·lació fotovoltaica al campus Sud. Són tres pavellons de les mateixes dimensions, cosa que permet simplificar certs càlculs, no tenen edificis molt alts a prop, disposen de molt pocs obstacles a la seva coberta i tenen un fàcil accés. Aquests tres pavellons tot i tenir poca alçada estan molt exposats a la llum solar durant tot el dia ja que estan situats més al sud que els dos edificis alts que els envolten (l'edifici H i el pavelló G). Tot i així s'haurà d'estudiar l'efecte de la ombra d'aquests edificis. Haurem de tenir en compte els obstacles i deixar espais de pas i seguretat.



Figura 4. Pavellons D, E i F de la ETSEIB, de dreta a esquerra.

Amb l'ajuda del Google Maps mesurem la superfície del sostre dels pavellons per tal de saber quin serà el espai del que disposarem per realitzar la nostra instal·lació. A simple vista s'observa que són els tres iguals i ens surt que fan 40 m de llarg per 15 m d'ample.

Caldrà tenir en compte que dalt dels pavellons ja hi ha situats alguns elements que impedeixen la possible distribució de les plaques. Com es pot observar a la figura 4, el pavelló D no presenta cap obstacle a la seva coberta. El pavelló E té varis elements al damunt però només considerem els dos situats més cap al mig com a obstacles. I el mateix pel pavelló F que té un petit element que ens fa perdre un petit espai. A més haurem de deixar una distància de seguretat i de pas al voltant dels marges dels sostres dels tres pavellons. Aquesta distància serà de 1,5 m, que ens permet el pas d'una persona (que podria anar carregada) amb suficient distància fins al marge perquè no pugui haver-hi cap incident greu.



Figura 5. Obstacles marcats de les cobertes dels pavellons F i E.

Els elements 1 i 2 marcats a la Figura 5, són d'aproximadament 1 m^2 . Però els considerarem de $2,25 \text{ m}^2$ ($1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$) ja que s'ha de deixar un espai de seguretat entre els obstacles i la instal·lació. Pel que fa l'element 3 és molt més gran, i per tant el considerarem de 30 m^2 ($5 \times 6 \text{ m}$) tenint en compte aquest espai de seguretat que ja s'ha mencionat abans.

Finalment, ens quedaran en els tres pavellons superfícies diferents per la distribució de les plaques fotovoltaïques com es pot apreciar a la Figura 6. Així doncs, ens quedarà pel pavelló F una superfície de $441,75 \text{ m}^2$, pel E de $411,75 \text{ m}^2$ i pel D de 444 m^2 per situar-hi la nostra instal·lació, podem veure com es desglossa tot el mencionat en la taula 1.

	Pavelló D	Pavelló E	Pavelló F
Superfície total (m^2)	600	600	600
Superfície d'obstacles (m^2)	0	32,25	2,25
Superfície de marge de seguretat (m^2)	156	156	156
Superfície útil per plaques (m^2)	444	411,75	441,75

Taula 1. Distribució de les superfícies per cada pavelló.



Figura 6. Superfície útil per la instal·lació de les plaques fotovoltaïques.

4.2. Legislació

La legislació existent a Espanya relativa als sistemes de generació elèctrica renovable i, en concret, a les instal·lacions fotovoltaïques, és molt extensa i complexa.

Quant als sistemes fotovoltaïcs connectats a la xarxa, la legislació aplicable és bastant més complicada que la dels sistemes aïllats. Classifica la instal·lacions depenent de si tenen consums elèctrics associats, és a dir d'autoconsum o sense estan dissenyades exclusivament per injectar energia elèctrica a la xarxa referent a les centrals fotovoltaïques.

La norma d'aplicació en els sistemes d'autoconsum és el RD 244/2019. Aquesta habilita diverses possibles configuracions per a les instal·lacions de generació que podran ser individuals, quan hi hagi un únic consumidor associat a la instal·lació o col·lectius, quan hi hagi diversos consumidors associats a la mateixa instal·lació de generació.

Les instal·lacions de generació podran connectar-se de diferents formes, de manera que hi haurà:

- Instal·lacions pròximes a xarxa interior, quan es connectin a la xarxa interior dels consumidors.
- Instal·lacions pròximes a través de xarxa, quan es connectin a les xarxes de baixa tensió que depenguin del mateix centre de transformació, es connectin a menys de 500m del consumidor o estiguin ubicades en la mateixa referència cadastral que el consumidor.

Hi ha dos modalitats d'autoconsum que es determinaven en el RD 801/2015. El tipus I sense excedents on hi ha un únic tipus de subjecte: el consumidor. I el tipus II amb excedents. Que correspon a quan les instal·lacions de generació poden, a més de subministrar energia per a autoconsum, injectar energia excedentària en les xarxes de transport i distribució. Aquesta segona rebra ara una compensació, o bé no pagarà quan utilitzi la xarxa elèctrica segons s'ha establert en el nou decret del 2019.

5. Instal·lació fotovoltaica

En aquest apartat es realitzarà el dimensionament de tota la instal·lació. S'estudiaran i es seleccionaran els elements necessaris per tal que aquesta sigui el més eficient possible. Primer es calcularan els angles d'orientació i inclinació òptims i les pèrdues que aquests generen. Es continuarà amb les pèrdues per ombres. Es triarà quin tipus i model de plaques s'utilitzarà. Amb totes aquestes dades es realitzarà el disseny de la distribució final de les plaques.

Per dur a terme tot aquest l'estudi s'utilitzaran les següents eines:

- El Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa realitzat per l'IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Aquest ens proporciona informació general sobre tot el que ha de contenir la nostra instal·lació, a més de la ajuda necessària per realitzar els càlculs de l'angle d'orientació i inclinació i les pèrdues que aquests generen.
- El estudi de la IOC sobre Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques i els quaderns sobre energia solar fotovoltaica de la ICAEN. S'usarà la informació proporcionada per aquests documents per tal de seleccionar el millor possible les connexions entre plaques, l'inversor i el cablejat de tota la instal·lació. A més també serà útil per la decisió de les estructures de suport de les plaques.

5.1. Determinació de l'angle d'orientació

L'angle d'orientació que també anomenem azimuth és aquell angle que forma la projecció de la normal de la placa amb l'eix cardinal Sud. Quan la placa està totalment mirant el sud, tenim l'angle òptim que és de 0° ja que és quan la placa rep més irradiació solar. L'est són -90° i el oest $+90^\circ$. Més cap al nord d'aquests punts mai es considera ja que seria una placa gens eficient.

L'angle d'orientació serà de -18° , aquest angle és el que fa que les plaques quedin situades en files paral·leles a l'ample de la coberta. Això fa que la seva distribució i connexió entre elles sigui molt més fàcil. Així que per determinar aquest angle només ha calgut veure quina desviació tenia l'eix longitudinal de l'edifici respecte el sud.

Si s'hagués decidit posar les plaques amb un angle d'orientació de 0° , aleshores caldria ficar les plaques desviades 18° a l'esquerra respecte l'eix longitudinal de la coberta. Això provocaria una pèrdua de superfície útil per la distribució de les plaques elevada, sobretot en els llocs on hi trobem obstacles.

5.2. Determinació de l'angle d'inclinació

L'angle d'inclinació serà aquell que tingui el pla de la placa amb el terra o superfície. Segons l'altura del Sol, aquest angle convé que sigui més petit o més gran per tal que la radiació incideixi millor a la placa. Aquest doncs, al variar segons l'altura del Sol acostuma a dependre de la latitud a la que es situarà la instal·lació, que això ens permet saber com es situa el Sol durant l'any.

Hi ha diferents formes per calcular la inclinació òptica de les nostres plaques que són totes aproximatives. Pel que fa les instal·lacions connectades a xarxa s'utilitza sempre un criteri general, segons l'ús que se li doni a la instal·lació. Si es necessita més energia en els mesos d'estiu es resta 20° a la latitud del lloc on vagi a situar-se (en $^\circ$ també). En canvi, si la energia es vol utilitzar als mesos més freds es suma 10° a la latitud. I si se'n fa un ús anual es resten 10° a la latitud de la localització concreta.

Aleshores, utilitzant aquest mètode explicat, la ETSEIB està localitzada a $41,38^\circ$ N de latitud. Com que volem fer-ne un ús anual el càlcul serà de $41,38^\circ - 10^\circ$ quedant-nos així que el angle d'inclinació seria de $31,48^\circ$.

Considerem un ús anual ja que tot i que a l'hivern s'utilitzi molta energia, i a l'agost la universitat no hi hagi gaire activitat. S'ha de tenir en compte que en els mesos més calorosos s'utilitza l'aire condicionat que també consumeix molta electricitat, com ho fa la calefacció al hivern. A més a la universitat sigui estiu o hivern s'utilitzen gairebé les mateixes llums ja que la majoria són sales molt grans.

5.3. Pèrdues degut a l'angle d'orientació i inclinació

Per tal de confirmar que la opció escollida fos adequada s'han seguit els passos recomanats per la IDAE en el plec mencionat anteriorment (Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa). Gràcies aquest procediment podríem veure les pèrdues que podríem tenir degut al valor que prenguessin aquests angles. Si fossin més grans del 10%, que és el límit permès per instal·lacions generals, hauríem de canviar aquests angles.

Amb un angle azimut de -18° i un angle d'inclinació de $31,48^\circ$. S'utilitza el gràfic donat per l'IDAE (Figura 7), aplicable només per localitzacions situades a 41° de latitud, com és el nostre cas. S'observa doncs, per les nostres dades que les pèrdues estarien entre el 0 i 5%. Es corrobora que els angles escollits seran adequats.

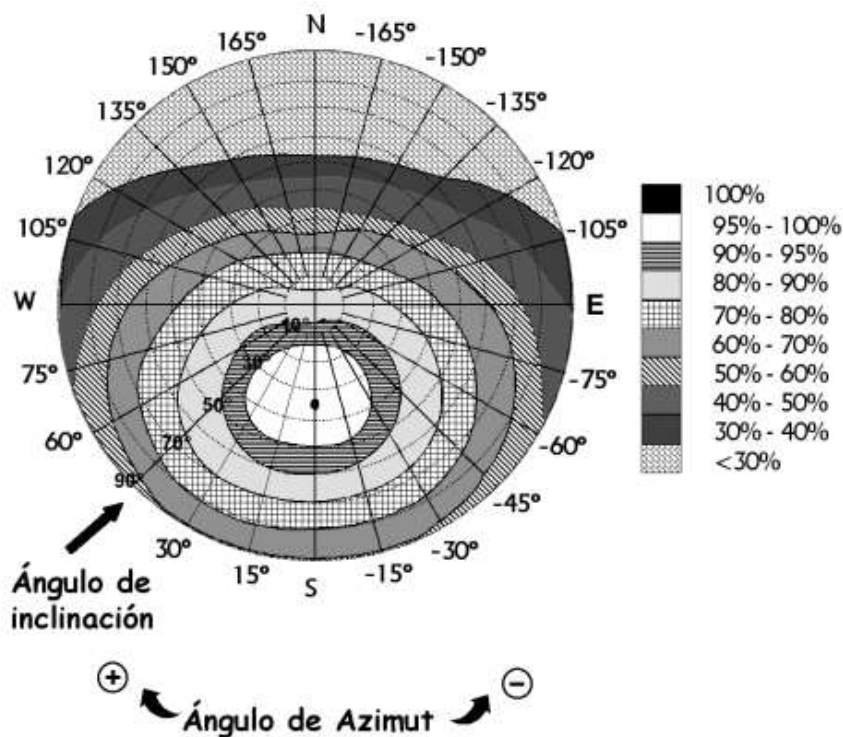


Figura 7. Gràfic de pèrdues segons l'angle azimut i d'inclinació. Font: IDAE.

5.4. Pèrdues per ombres

Caldrà tenir en compte les ombres que es pugin generar sobre la superfície de la instal·lació. Aquestes poden minvar la irradiació solar en les plaques, provocant pèrdues d'energia. Es calcularan aquestes pèrdues per tal de veure si la instal·lació és eficient o si cal canviar la ubicació de les plaques.

Analitzant els edificis que poden causar ombres i afectar la nostra instal·lació veiem el següent:

- L'edifici H està situat més al nord que els tres edificis dels pavellons D, E i F. És a dir, si tirem una línia de est a oest que passi pel punt més al sud veiem que aquesta gairebé no creua amb cap dels tres pavellons.
- El mateix passa amb l'edifici de l'ETSAB que també té una altura elevada però està situat més amunt d'aquesta línia imaginària mencionada més amunt. A més, aquest està molt més allunyat dels pavellons que l'edifici H.
- El pavelló G és paral·lel i molt proper als tres pavellons on es localitzarà la instal·lació, està situat a 9 m de distància, 16,5 m fins el centre de la coberta del pavelló F. La seva altura és de 82 m respecte al mar, mentre que la dels pavellons és de 77 m.
- Com que el pavelló F és el més proper al G, s'ha decidit només analitzar-les pèrdues per ombres que es produeixen a la coberta del pavelló F. En el cas que fossin significatives s'intentarà modificar la distribució del pavelló G i s'analitzarà les ombres en el E i D.

Per calcular aquestes pèrdues tindrem en compte el edifici del pavelló G i l'edifici del pavelló F pels motius mencionats anteriorment. I utilitzarem el mètode recomanat per l'IDAE. [6]

Aquest mètode utilitza el gràfic següent (Figura 8), per fer-lo servir doncs, haurem de calcular els graus d'elevació del pavelló G respecte el F. Aquest càlcul es farà utilitzant la equació: (Eq.1)

$$\text{Elevació } (^{\circ}) = \arctg \frac{\Delta h}{d} \quad \text{Eq.1.}$$



On:

- Δh : Diferència d'altura entre un edifici i altre.
- d : Distància horitzontal centre de la instal·lació i els dos extrems del edifici obstacle més propers al centre de la instal·lació.

També caldrà calcular l'angle que forma el centre de la instal·lació amb cadascun dels extrems del edifici G. Aquest angle serà l'azimut. En positiu per l'oest i negatiu per l'est. Si un d'aquests és més gran de 120° , directament es considerarà de 120° igualment.

Aleshores els angles per fer la projecció a la figura ens queden així:

Edifici G	Grau d'elevació	Angle azimut
Extrem Nord-Est	11,76°	25°
Extrem Sud-Est	4,61°	120°

Taula 2. Angles per determinar les pèrdues d'ombres.

Un cop tenim aquestes dades es pot dibuixar la projecció en el dibuix. (Figura 8) S'obtenen els quadrants que queden dins la projecció i aleshores es procedeix a buscar el seu factor a la taula amb un azimut i angle d'inclinació més propers als que hem determinat en apartats anteriors. En el nostre cas serà la taula V-8. (Taula 3)

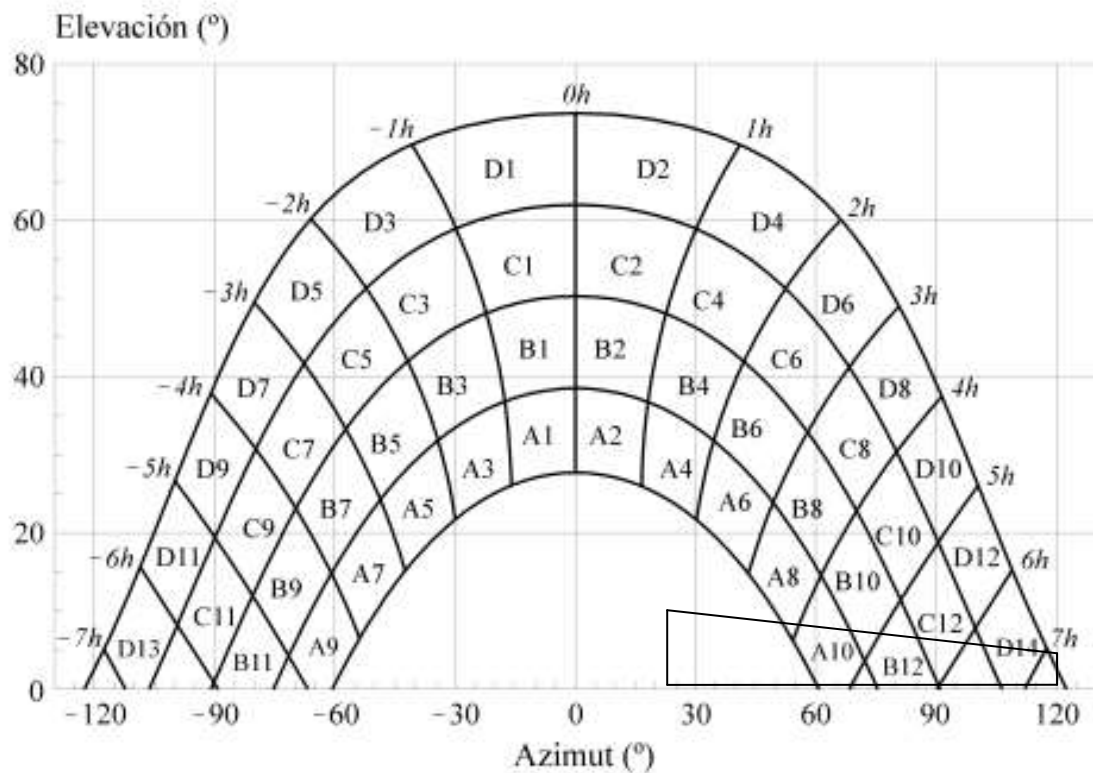


Figura 8. Projectió de l'edifici G en el diagrama de trajectòries del Sol. Font: IDAE.

Tabla V-8

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = -30^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Taula 3. Taula per determinar el factor de pèrdues segons el diagrama de la figura 8. Font: IDAE.

Quan tinguem els coeficients de la taula, cal veure en quina proporció tapa la projecció de l'edifici cada zona i multiplicar el factor per la proporció. Per fer-ho més senzill aquesta proporció serà de 0,25, 0,5, 0,75 o 1. I ens queda.

$$\% \text{Pèrdues} = 0,75 \cdot A_{10} + 0,25 \cdot C_{12} + 0,5 \cdot D_{14} + 0,25 \cdot B_{10} = \mathbf{0,0875\%}$$

Recordem que aquestes pèrdues només són les del pavelló F respecte el edifici G. Veiem que són molt petites i per això confirmem la hipòtesi inicial de no calcular les pèrdues per ombres dels altres dos pavellons. Aquestes pèrdues per irradiació tampoc seran més grans del 10% permès per instal·lacions generals, per tant seguim complint la normativa com ho fèiem amb les pèrdues per inclinació i orientació.

5.5. Plaques solars fotovoltaiques utilitzades

Primer de tot a l'hora de triar el tipus de plaques fotovoltaiques que s'utilitzaran per la nostra instal·lació cal decidir si s'utilitzaran plaques monocristal·lines o policristal·lines. Les primeres són més eficients degut a que estan generades per una sola placa de silici i per tant si tinguéssim un espai limitat serien la opció correcta. Pel que fa les policristal·lines al ser menys eficients que les monocristal·lines tenen un preu inferior. Com no tenim limitacions excessives pel que fa la superfície i volem tenir un cert estalvi econòmic s'optarà per utilitzar plaques solar fotovoltaiques policristal·lines.

Un cop triat les policristal·lines, es vol aconseguir la màxima potència, per això es miren les plaques de una potència nominal superior als 250 W. En aquest nivell tenim les formades per 60 cèl·lules o les de 72. Primer, s'ha vist que els més utilitzats normalment són els de 72 cèl·lules ja que són útils tant per connexions aïllades com connectades a xarxa. Per altre banda, es creia que les de 60 serien millors deguts a que tindrien un menor pes i tan sols es perdrien uns 30-50 W de potència nominal respecte les de 72. Això permetria que fossin més fàcils de pujar a la coberta i que l'estructura de suport no fos molt complexa i cara. Després d'analitzar varies plaques de 60 cèl·lules i de 72 s'ha vist que la diferència de pes entre elles es de aproximadament 6 kg. Aquesta diferència ens sembla mínima al comparar-la entre dues plaques però si sabem que en posarem moltes pot ser una diferència de 300 kg aproximadament. A més es recomanen les de 60 cèl·lules per instal·lacions connectades a xarxa. Finalment, s'ha decidit escollir una placa fotovoltaica policristal·lina de 60 cèl·lules que acostumen a tenir un voltatge nominal de 24 V i una potència aproximada de 275 W.

Triades les característiques de les plaques per la nostra instal·lació s'ha procedit a analitzar plaques de diferents marques i amb petites variacions d'unes respecte d'altres, segons les seves fitxes tècniques, que es poden apreciar a l'annex.



Finalment utilitzarem les plaques solars fotovoltaïques de Bauer de 280 W i de les especificacions triades abans.

El panell solar 280W Bauer té unes dimensions de **1650 x 990 x 35 mm** i un pes de **17,75 kg**. La tecnologia interna del panell solar 280W Bauer permet tenir un alt índex d'eficiència, al voltant d'un 17% aproximadament. Els panells solars Bauer, tenen una diferència significativa en preu respecte a panells solars d'altres fabricants. Amb un funcionament elèctric excepcional, aquest panell solar 280W Bauer treballa de manera eficaç en condicions atmosfèriques adverses, tant alta temperatura o baixa irradiació. Cada panell 280 W, porta 90 cm de cable per cada pol, per facilitar les connexions pertinents.

Características

Tamaño del módulo	1650 x 990 x 35 mm
Células	60 piezas policristalinas (156 x 156 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	280W
Cable	90cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	37.8V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.36A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	32.2V
Intensidad a máxima potencia (Im)	8.7A
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.08558%
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.29506%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.38001%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	17.1%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	17.75Kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años

BSP280P



Figura 9. Característiques de la placa solar escollida. Font: Fitxa tècnica (annex)

5.6. Distribució de les plaques a la coberta

La distribució de les plaques a la superfície la determinarem segons la distància que hi hagi d'haver-hi entre elles. Amb aquesta dada podrem determinar quantes files de plaques s'hi poden posar i quantes plaques van a cada fila. Aquest càlcul el farem per dos opcions, posant les plaques verticals o horitzontals, és a dir, que el costat més llarg sigui el que formi l'angle d'inclinació determinat amb el terra o bé sigui el costat més curt qui formi aquest angle amb el terra. La primera opció generarà més espai entre files, però més plaques en aquestes files, mentre que la segona opció serà tot el contrari. Així que primer es procedirà a fer el càlcul entre files segons la posició de les plaques i després s'analitzarà quina opció és millor.

5.6.1. Determinació de la distància entre plaques

Per calcular la distància entre plaques utilitzarem el procediment proposat per l'IDAE. Aquest mètode s'utilitza quan el azimuth de les plaques és proper al 0°, sinó caldria fer-ho amb un programa de ombres. Donat que no es disposa d'aquest programa i que el nostre azimuth és de -18°, no molt allunyat dels 0°, utilitzarem el mètode proposat.

Aquest utilitza l'equació següent: (Eq. 2)

$$d = \frac{l \cdot \sin \beta}{\tan(61^\circ - \text{lat})} \quad \text{Eq.2}$$

On:

lat = Latitud de la ubicació de la instal·lació (41°)

β = Angle d'inclinació (31°)

l = Longitud de la placa

En la Figura 10 podem veure què entenem per d i el valor h que és igual a $l \cdot \sin(\beta)$.



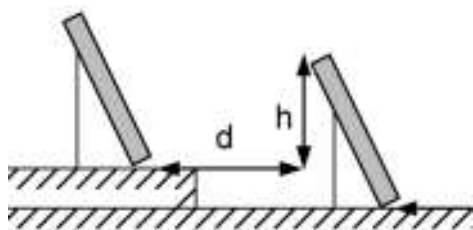


Figura 10. Esquema de la distància entre plaques. Font: IDAE.

S'ha realitzat els càlculs de d per les dues longituds possibles segons com es col·loquin les plaques. S'ha utilitzat la longitud de 1650 mm i de 990 mm, és a dir, simulant que la placa es disposa de manera longitudinal o transversal.

Després s'ha procedit a sumar la projecció horitzontal que anomenarem lh amb la distància d calculada, per tal de tenir el espai longitudinal que ocupa una placa.

Obtenim la Taula 4 on veiem la variació dels resultats depenent de la longitud escollida.

	Distància d (en mm)	Projecció horitzontal (lh) (en mm)	Suma de d i lh (en mm)
$l=1650$ mm	2213,83	1414,32	3628,15
$l=990$ mm	1328,3	848,6	2176,9

Taula 4. Distàncies entre plaques segons la posició de les plaques.

5.6.2. Distribució de les plaques a cada pavelló

Cal recordar que es tenen tres superfícies on volem instal·lar aquestes plaques. Dos d'elles tenen obstacles, és a dir, que la distribució de les plaques no serà homogènia.

Pavelló D:

La superfície de la coberta del pavelló D no té cap obstacle com ja s'ha analitzat abans. La àrea de zona útil, és a dir, on podem col·locar-hi plaques és de $37 \times 12 \text{ m}^2$. Fent un senzill càlcul obtenim ràpidament el nombre de files segons la posició de la placa. Es compte que cada placa ocupa una distància igual a la dada obtinguda abans de d i lh , excepte la última que no necessita espai de seguretat darrere ja que ja l'havíem considerat.

Si posem que la longitud de la placa és de 1650 mm, és a dir les posem en direcció vertical, es poden tenir fins a 10 files. I sabent la amplada que tindrà cada placa (990 mm) sumant-li aproximadament 100 mm de distància entre les plaques i la que té la nostra superfície (15000 mm) obtenim que es poden tenir 10 plaques per fila, per tant serien 100 plaques per aquest pavelló.

Si fem el mateix considerant la placa de longitud 990 mm, obtenim que es poden tenir 16 files amb 6 plaques per fila, per tant serien 96 plaques per la superfície del pavelló.

Vist els resultats pel pavelló D, s'escull i s'aplicarà per tots els pavellons, la opció de posar les plaques en vertical, és a dir que el costat longitudinal a la superfície sigui el més llarg, i el costat més curt estigui en paral·lel amb el terra. Finalment tindrem 10 files amb 10 plaques cadascuna.

Aplicarem els mateixos càlculs pels pavellons E i F només per la opció vertical comentada. Cal tenir en compte els obstacles mencionats prèviament.



Pavelló E:

La superfície de la coberta del pavelló E té dos obstacles que cal tenir en compte en la disposició de les plaques, i que ja havíem descrit i marcat els seus límits en apartats anteriors. Així doncs, algunes files tindran menys plaques degut a que aquests obstacles fan que s'estrenyi la amplada de la superfície. A més, a causa de què aquests obstacles també han de tenir una distància de seguretat entre ells i les plaques podria ser que es perdés alguna fila.

Un cop fet els càlculs pertinents es determina que es tindran 7 files completes, és a dir, amb 10 plaques cadascuna. I es tindran una fila que només tindran 5 plaques. Això farà un total de 75 plaques per la superfície del pavelló E.

Pavelló F:

La superfície de la coberta del pavelló F té un obstacle que cal tenir en compte en la disposició de les plaques, i que ja havíem descrit i marcat els seus límits en apartats anteriors. Així doncs, algunes files tindran menys plaques degut a que aquest obstacle fa que s'estrenyi la amplada de la superfície. A més, a causa de què aquest obstacle també ha de tenir una distància de seguretat entre ell i les plaques podria ser que es perdés alguna fila.

Es procedeix a fer els càlculs necessaris i s'obté que es tindran 9 files i que totes aquestes files tindran 10 plaques, això seran 90 panells en tota la superfície. S'observa que es té una fila menys que al pavelló D que no tenia cap obstacles. Això es degut a que al tenir un obstacle tan petit permet que pugui estar entre dues files de plaques, però no ens permet posar-ne una al seu costat ja que no hi tenim prou espai longitudinal.

Es pot apreciar com quedarien els tres pavellons a la figura 11; de

esquerra a dreta el pavelló F, E i G. Amb els seus respectius obstacles marcats en vermell. Les files de plaques solars marcades en blau, totes de 10 plaques cadascuna excepte la que té una longitud més petita que serà de 5.



Figura 11 . Distribució dels 3 pavellons amb les files de les plaques solars i els obstacles.

6. Connexió i elements de la instal·lació

6.1. Connexió dels panells solars

Tenint en compte que la potència d'una placa fotovoltaica té un valor fix, quan es calculen les potències d'una instal·lació, sovint cal fer servir un determinat nombre de plaques i unes certes per assolir una potència i tensió determinades.

Les connexions d'aquestes plaques segueixen les normes bàsiques de les connexions elèctriques: es poden connectar en sèrie, en paral·lel i combinant les dues per tal d'aconseguir sumar la potència dels mòduls connectats i adaptar el funcionament al voltatge del circuit de consum. [3]

Recordem, que les connexions en sèrie són aquelles que es connecta el pol negatiu de la placa amb el positiu de la següent. Fent que la intensitat del corrent sigui la mateixa i travessi totes les plaques. Mentre que el voltatge total serà la suma de els voltatges de les plaques.

Pel que fa les connexions en paral·lel, són aquelles on tots els pols positius estan connectats entre ells, i els negatius igual. Aleshores el voltatge és el mateix per totes les plaques, és el voltatge total. I la intensitat total serà la suma de les intensitats de totes les plaques. Cal destacar que l'augment d'intensitat produeix un augment de les pèrdues per efecte Joule, fet que obliga a muntar conductors de molta secció per tal que puguin suportar intensitats elevades.

Òbviament, poden haver-hi connexions mixtes, que són les que usarem per la nostra instal·lació, aquestes ens permeten augmentar tant el voltatge com la intensitat del bloc i aconseguir una major potència.

Per tal de fer els càlculs de la potència que ens donarà la connexió de les nostres plaques s'hauran de fer els següents càlculs:

- Voltatge i intensitat per cada fila de plaques en sèrie:

$$V_m = N_s \cdot V_n \quad \text{Eq. 3}$$

$$I_m = I_n \quad \text{Eq. 4}$$

- Voltatge, intensitat i potència del conjunt:

$$V_{tot} = V_m \quad \text{Eq. 5}$$

$$I_{tot} = N_p \cdot I_m \quad \text{Eq. 6}$$

$$P_{tot} = V_{tot} \cdot I_{tot} \quad \text{Eq. 7}$$

On el voltatge i la intensitat n fa referència a la pròpia de cada placa solar. I el voltatge i intensitat m correspon al de cada branca de plaques en sèrie. Així doncs, N_s serà el nombre de plaques en sèrie i N_p el nombre de branques en paral·lel.

Els resultats per tots els pavellons seran:

Pavelló D

N_s	N_p	V_n	I_n	V_m	I_m	V_{tot}	I_{tot}	P_{tot}
25	4	32,2 V	9,36 A	805 V	9,36 A	805V	37,4 A	30,1 kW

Pavelló E

N_s	N_p	V_n	I_n	V_m	I_m	V_{tot}	I_{tot}	P_{tot}
25	3	32,2 V	9,36 A	805 V	9,36 A	805 V	28,1 A	22,6 kW

Pavelló F

N_s	N_p	V_n	I_n	V_m	I_m	V_{tot}	I_{tot}	P_{tot}
18	5	32,2 V	9,36 A	580 V	9,36 A	580 V	46,8 A	27,1 kW

Taula 5 6 i 7. Resultats de voltatge, intensitat i potència de cada pavelló.

6.2. Inversor

Per tal de poder passar la potència a la xarxa elèctrica de la universitat caldrà convertir el corrent continu que ens donen les plaques en corrent altern que utilitza la xarxa. Aquest fet ens obliga a tenir almenys un inversor. Un inversor per connexió elèctrica es caracteritza per anar connectat directament al generador fotovoltaic, transforma el CC en CA i després injecta la potència a la xarxa. Aquests hauran de poder complir amb el punt de màxima potència que es pot obtenir igual que amb el voltatge i corrent d'entrada màxims.

Vist la potència nominal que genera cadascun dels pavellons ens veurem obligats a utilitzar un inversor per cada. Ja que no hi ha cap inversor que pugui arribar a la potència que ens donarien els tres sistemes junts. És per això que s'havia optat per no connectar plaques de diferents pavellons en sèrie o paral·lel.

Aquesta potència nominal acostuma a ser ideal, és a dir, que mai es treballarà a aquesta potència i per això s'acostuma a tenir en compte només un 85% d'aquesta, així doncs subdimensionem el inversor. Ens queda que la màxima potència que haurà de suportar l'inversor és d'aproximadament 25,5 kW. Aquesta serà pel pavelló D ja que els altres dos al disposar de menys plaques generen una potència lleugerament inferior. Tot i això s'ha pensat que per agilitzar el procés de selecció i fer-lo més senzill només escollir un tipus de inversor i aplicar-hi per igual als tres pavellons. Aleshores s'han analitzat els valors de voltatge i corrent dels pavellons i s'ha buscat aquell inversor on aquests valors s'ajustaven amb els valors de tensió i corrent límits que tingués el inversor.

El inversor seleccionat és el *Fronius Eco 27.0-3-S* que té una potència de 27 kW. Ha estat especialment dissenyat per a instal·lacions de gran potència. És un inversor sense transformador, amb un pes molt lleuger i sistema de muntatge SnapINverter, permet una instal·lació molt ràpida i senzilla. A més, presumeix d'un tipus de protecció IP 66. Gràcies al portafusibles i a la protecció contra

sobretensions, no necessiten caixes de connexió CC o de concentració. Les seves característiques es troben a la fitxa tècnica del annex tot i que podem veure les dades tècniques principals a la Taula 8. Veiem que els voltatges de les branques de plaques en sèrie estan en el rang de tensions MPP i que no es supera en cap moment la màxima tensió d'entrada. Es calcula també per cada branca en sèrie el voltatge amb la tensió pic de la placa que és de 38,7 V i s'observa que en cap del pavellons es supera els 1000V de tensió màxima d'entrada que permet el inversor. Sabem que el inversor té 6 entrades, per tant s'ajusta a les combinacions sèrie paral·lel que s'ha fet de les plaques.

Potència nominal de sortida	27.000 W
Màxim corrent d'entrada	47,7 A
Màxima tensió d'entrada	1000 V
Rang de tensions MPP	580 – 850 V

Taula 8. Característiques principals del inversor seleccionat. Fitxa tècnica.

6.3. Cablejat

El cablejat és el que ens ajudarà a unir totes les parts de la nostra instal·lació per tal que funcioni correctament. Permetrà connectar les plaques en sèrie i paral·lel segons s'hagi determinat i després connectar tot el conjunt de plaques a l'inversor per tal de passar l'energia a la xarxa.

Aquest cablejat ha de seguir unes normes i tenir unes característiques concretes per tal de que realitzi la seva feina correctament. És a dir que transportin el corrent però que a més facin tota la instal·lació ben segura per tal que cap incident pugui passar. Segons la IDAE aquestes són les normes que ha de tenir aquest cablejat:

- Els positius i negatius de cada grup de mòduls es conduiran separats i protegits de acord amb la normativa vigent.
- Els conductors seran de coure i tindran la secció adequada per evitar caigudes de tensió i escalfaments. Per qualsevol condició de treball, els conductors hauran tenir la secció suficient perquè la caiguda de tensió sigui inferior del 1,5%.
- El cable ha de tenir la longitud necessària per no generar esforços en els diversos elements ni possibilitat de impediment del trànsit normal de persones.
- Tot el cablejat de contínua serà de doble aïllament i adequat per al seu ús en intempèrie, l'aire o enterrat, d'acord amb la norma UNE 21123. [6]

Si no es té una secció correcta del cablejat que transporta el corrent en les diferents fases de la instal·lació es poden generar pèrdues per caiguda de tensió o bé per efecte Joule. Per evitar el primer dels problemes en la seva totalitat considerarem un valor màxim de caiguda de tensió del 1,5%, que és el que s'estableix sempre per instal·lacions connectades a xarxa.

A l'hora de calcular la secció del cable veiem que hi haurà tres trams, les connexions entre plaques, la connexió de les plaques fins l'inversor i finalment

la del inversor a la xarxa elèctrica. Aquesta distribució serà igual pels tres pavellons ja que el conjunt de cada edifici és molt semblant.

Serà molt important també afegir-hi la connexió a terra. Una connexió vital pel funcionament correcte de la instal·lació i que a més protegeix a les persones del contacte directe i al circuit en cas d'alguna descàrrega elèctrica generada per algun fenomen atmosfèric. Així doncs caldrà seguir la normativa imposada per l'IDAE [6] per la posada a terra de la instal·lació.

6.3.1. Connexió entre plaques

La connexió en sèrie de les plaques s'utilitzarà un cable de secció de 4 mm^2 tal com indica el fabricant a la fitxa tècnica. Aquesta secció és la que s'adapta a les plaques i que normalment sol ser l'estàndard així que no hauria de causar cap problema, suposem que no hi haurà caiguda de tensió degut a la poca llargada de cable entre plaques. Observem a la Taula 9 que el nostre cable de secció 4 mm^2 podrà suportar perfectament la intensitat que hi circularà ja que en teoria és de 9,36 A.

6.3.2. Connexió entre les plaques i l'inversor

La secció per connectar les línies de plaques en sèrie a l'inversor també serà de 4 mm^2 . Ja que és el que s'indica també a la fitxa tècnica. A més aquesta secció compleix la Taula 9, ja que hi segueixen circulant 9,36 A.

A més si es calcula utilitzant la equació 8 la caiguda de tensió que es tindrà de les plaques al inversor per una secció de 4 mm^2 ens surt de 0,6%. Aquesta caiguda de tensió no supera el màxim permès de 1,5%, cosa que corrobora l'elecció de la secció.

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I}{c \cdot u} \quad \text{Eq. 8}$$

Sección de Cable	Intensidad Máxima
0,5 mm ²	6 A
0,75 mm ²	9 A
1 mm ²	11 A
1,5 mm ²	14 A
2 mm ²	16 A
2,5 mm ²	20 A
4 mm ²	28 A
6 mm ²	37 A
8 mm ²	48 A
10 mm ²	53 A
16 mm ²	75 A
25 mm ²	100 A
35 mm ²	125 A
50 mm ²	160 A

Taula 9. Intensitat que suporta un cable de coure segons la seva secció. [10]

6.3.3. Connexió de l'inversor a xarxa

La intenció d'aquesta connexió és que sigui el més curta possible, i que es pugui connectar l'inversor a xarxa gairebé directament, si mirem la fitxa tècnica de l'inversor cal utilitzar una secció de 16 mm². Veiem que aquesta secció a més compleix amb la taula 9. Utilitzarem la versió per línies trifàsiques de l'equació 8, per tal de veure quina caiguda de tensió tindrem, i mirar que no superi el 1,5% mencionat.

7. Estructures de suport i ancoratge

El sistema d'ancoratge de les plaques solars és vital a l'hora de dissenyar una instal·lació d'aquest tipus. Degut a què aquest estarà sotmès a diferents esforços mecànics, ja siguin els del pes de les plaques o bé a la força resistiva d'aquestes quan hi hagi un fort vent. Cal que aquestes estructures estiguin ben dissenyades per tal d'assegurar i allargar la vida útil de la instal·lació.

El més fàcil seria pensar que la estructura ha d'anar ancorada mitjançant claus que perforin la coberta, però aquest mètode en condicions climatològiques adverses podria fer malbé la superfície. A més hi ha el risc que a través dels forats fets per l'ancoratge i entri aigua quan plou i si formin humitats. Així doncs es recomana utilitzar blocs de formigó prefabricats que aniran situats sobre la superfície de la coberta i allà s'hi ancoraran les estructures de suport metàl·liques amb les plaques.

Aquestes estructures acostumen a ser d'alumini o ferro galvanitzat però sempre amb cargols d'acer inoxidable. Ja que al estar al exterior si s'oxidessin els cargols no hi hauria una bona fixació i subjecció de la estructura i s'acabaria trencant o fent malbé quan hi hagués vent fort. Així doncs aquestes estructures de suport han de tenir les següents característiques: [11]

- Llarg vida útil, fabricades amb materials resistents i amb poc o sense manteniment a la intempèrie.
- Resistència mecànica als esforços provocats pel vent com a mínim de 2000N.
- Rapidesa i senzillesa de muntatge i permetre diverses possibilitats de subjecció.
- Cost adequat comparat amb el del panell solar.

Un cop vistes les característiques que ha de tenir es fa una cerca de la estructura que serà necessària. Es troba una estructura de suport per a instal·lacions solars de la marca Elecsol solar, dissenyada per instal·lar 10 mòduls fotovoltaics de 60 cèl·lules (1650 m x 1000 m aproximadament), disposats en vertical. Constituïda d'alumini estructural 6005 T6 i cargols d'acer inoxidable A2-70. Dissenyada per a cobertes sense inclinació, proporcionant un angle de 30° als panells solars.

7.1. Ancoratge

Com ja s'ha mencionat el problema més greu serà la força que faci el vent i per tant la capacitat de la nostra estructura d'ancoratge per suportar aquestes càrregues. Per calcular-les utilitzarem les fórmules i taules donades per l'ICAEN.

La força sobre cadascun dels mòduls es calcularà amb la fórmula següent (Eq. 9):

$$f = p \cdot s \cdot \sin^2 \beta \quad \text{Eq. 9}$$

On:

S : Superfície de la placa

β : Angle d'inclinació de la placa

p : Pressió frontal del vent (Taula 10)

Velocitat del vent (m/s)	Velocitat del vent (km/h)	Pressió del vent (N/m ²)
42	165,6	1294
46	172,6	1409
48	180	1528
52	187,2	1653
54	194,4	1783
56	201,6	1917
58	208,8	2957

Taula 10. Pressió aplicada pel vent en una superfície vertical segons la seva velocitat. Font: ICAEN.

Agafem un vent de 180 km/h, el que seria un vent gairebé huracanat, per fer aquests càlculs. De tal manera que la nostra instal·lació suporti aquest tipus de condicions i no hi hagi cap incident greu si es dona el cas.

La pressió serà $p = 1917 \text{ N/m}^2$. La secció en m^2 és $S=1,63 \text{ m}^2$ i l'angle d'inclinació és de 31° . Ens queda doncs que ha de suportar l'estructura d'una placa una força aproximada de $f=680 \text{ N}$. Segons la ICAEN seria un contrapès de 40 kg/m^2 .

Si calculem la superfície de plaques solars que tenim, per exemple en el pavelló D, ens surt de 140 m^2 i multiplicant pel contrapès en metres quadrats ens quedarà una estructura de 5600 kg . Aquest serà el pes total de la estructura de formigó. S'agafa el pavelló D ja que és el que té més superfície de plaques i per tant tindrà una estructura més gran i de més pes.

7.2. Sobrecàrrega de la coberta

La normativa pel que fa a cobertes d'un edifici ens diu que sobre la nostra coberta, del qual no sabem el seu tipus, és a dir, si el seu ús és privat o tan sols es pot pujar per fer-hi la conservació adient. Sigui quin sigui dels dos la màxima càrrega suportable és de 1 kN/m^2 . Es torna a agafar el pavelló D com a exemple degut a les condicions mencionades al anterior apartat.

Cada panell té un pes de $17,75 \text{ kg}$, per tant el pes total dels panells del pavelló D serà de 1775 kg . El pes de la estructura metàl·lica és de 50 kg per fila, un total de 500 kg ja que al ser d'alumini serà molt lleugera. Finalment tenim el pes del formigó que ha de ser com havíem calculat de 5600 kg . Són un total de 7875 kg que això vol dir uns $77253,75 \text{ N}$. Si dividim el pes entre la superfície projectada de plaques que tenim (140 m^2) i ho passem a kN és una càrrega de $0,552 \text{ kN/m}^2$. Una mica més de la meitat del permès. Això ens permet complir la normativa que diu que la sobrecàrrega que ha de poder aguantar per neu ha de ser de $0,2 \text{ kN/m}^2$.

8. Manteniment

Les instal·lacions de producció d'energia solar requereixen poc manteniment si es comparen amb altres mètodes d'obtenció d'energia: És per això que s'aprofiten les zones poc habitades i llunyanes de les ciutats, que tinguin una bona irradiació solar per instal·lar-hi les centrals d'energia solar. Tot i així cal tenir en compte que la nostra instal·lació necessitarà d'un contracte de manteniment tal com estableix la IDAE en el seu plec de condicions.[6]

Aquest contracte de manteniment ha de ser de mínim tres anys. En ell s'han d'incloure tots els elements que conformen la instal·lació i com aquestes s'han de tractar per tal de mantenir-se correctament, seguint els consells donats pels fabricants. Aquest manteniment es desglossa en:

- Preventiu: Consisteix en inspeccions ja siguin visuals o de certes actuacions que han de servir per mantenir la instal·lació en unes condicions òptimes pel seu funcionament correcte. A més han de permetre visualitzar si la instal·lació segueix sent segura i mantingui la durabilitat prevista. Es comprova l'estat de les proteccions, del inversor, del cablejat i dels mòduls. Aquests últims es comprova que segueixin ubicats tal com es s'estableix en el projecte original.
- Correctiu: Aquest tipus de manteniment es basa en la substitució dels elements que ja no funcionen correctament afectant tot el conjunt de la instal·lació. Aquests defectes s'acostumen a veure durant els manteniments preventius i per això existeix el comentat prèviament. La substitució d'un element també pot ser deguda a una averia visible d'efecte immediat.

Tant un com l'altre formen part del cost anual de manteniment. Aquest manteniment el sol fer la pròpia instal·ladora que proporciona unes persones qualificades. Després caldrà realitzar un informe tècnic per tal de que quedi reflectida la situació de la instal·lació en aquell moment i qualsevol de les averies o problemes que puguin existir. També caldrà doncs, registrar les operacions de manteniment correctiu que s'hagin dut a terme. Per falta d'informació no es pot saber quan costaria la instal·lació dels mòduls ni tampoc el cost del manteniment, aquest últim s'aproximarà a 500 € anuals. [13]

9. Producció energètica

Per tal de veure la producció energètica que pot arribar a tenir la nostra instal·lació es calcularà de diverses maneres podent comparar els resultats. Així es veurà si s'han fet unes bones estimacions de tots els aspectes de la instal·lació. L'energia generada la calcularem mitjançant el mètode analític i també amb el simulador del PVSyst.

9.1. Mètode analític

Per calcular l'energia elèctrica produïda utilitzarem el mètode analític donat per l'IDAE. On l'energia injectada a la xarxa es calcula amb la següent fórmula (Eq.10):

$$E = \frac{G_{dm}(\beta, \alpha) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{CEM}} \quad \text{Eq.10}$$

On:

P_{mp} : Potència pic del generador

PR: Performance Ratio (77,5% pel mètode analític que s'agafa per totes les instal·lacions entre 5 kW i 100 kW de potència)

G_{CEM} : 1 kW/m²

$G_{dm}(\beta, \alpha)$: Radiació global segons l'angle d'inclinació i orientació.

La radiació global que depèn de l'angle d'orientació i inclinació haurem d'aconseguir-la aplicant la seva fórmula. (Eq. 11). I ens caldrà fer uns càlculs previs.

$$G_{dm}(\beta, \alpha) = G_0 \cdot K \cdot FI \cdot FS \quad \text{Eq. 11}$$

La G_0 que és el valor mensual de radiació diària sobre una superfície horitzontal s'obté gràcies als gràfics proporcionats per la AEMET que ens els dona segons la província on està situada la nostra instal·lació. (Barcelona)

El FS (factor d'ombres) es considera 1 ja que com s'havia vist en el apartat de pèrdues per ombres, aquestes són molt petites i per tant no afecten a la radiació solar que reben les plaques.

La K és una constant segons el període de disseny.

El FI (factor d'irradiació) és necessari de calcular ja que afecta a la nostra instal·lació, perquè aquesta no està situada en el seu angle d'inclinació òptim degut a que aquest era de 31° i la nostra estructura només permet col·locar les plaques a 30° . Aquest es calcula segons l'Eq 12.

$$FI = 1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad \text{Eq.12}$$

El FI per les nostres dades $\beta=30^\circ$, $\beta_{opt}=31^\circ$ i $\alpha=-20^\circ$ ens queda de 0,98588. Veiem que la afectació del angle de inclinació i orientació serà baixa. Aquest valor serà el mateix per les tres cobertes dels pavellons ja que les plaques tenen la mateixa disposició

9.2. Comparació dades obtingudes

Un cop realitzat tots el càlculs obtindrem les dades de l'energia mensual generada. Per altre banda s'ha fet la simulació al PVSyst posant l'angle d'inclinació i orientació que tenim i amb les dades que el sistema agafa quan ens situem a l'ETSEIB. S'ha realitzat aquets anàlisis per els tres pavellons per saber quina energia total obtindrem amb tota la instal·lació dissenyada. (Taula 11)

	ENERGIA ELÈCTRICA GENERADA (kWh)					
	PAVEL·LÓ D		PAVEL·LÓ E		PAVEL·LÓ F	
	Mètode analític	Simulació PVSyst	Mètode analític	Simulació PVSyst	Mètode analític	Simulació PVSyst
GENER	1885,9	2299	1416,0	1925	1697,9	2206
FEBRER	2414,8	2577	1813,1	2157	2174,1	2396
MARÇ	3541,7	3586	2659,2	2702	3188,7	3342
ABRIL	4231,7	3819	3177,3	3097	3809,9	3797
MAIG	5289,6	4176	3971,6	3498	4762,4	4072
JUNY	5450,6	4434	4092,4	3621	4907,3	4327
JULIOL	4783,6	4434	3591,7	3732	4306,8	4265
AGOST	5105,6	4221	3833,4	3550	4596,7	4035
SETEMBRE	3886,7	3554	2918,2	2796	3499,3	3420
OCTUBRE	2943,8	3259	2210,3	2444	2650,4	3105
NOVEMBRE	2023,8	2681	1519,6	2224	1822,1	2605
DESEMBRE	1632,9	2081	1226,0	1542	1470,1	1977
TOTAL ANY	43190,7	41121	32428,8	33228	38885,7	39547

Taula 11. Energia mensual generada per la instal·lació.

S'observa que la simulació i el mètode analític són bastant semblant tot i algunes diferències que poden ser degudes a molts factors. El programa també ens ensenya la radiació diària que ell considera que hi haurà, aquesta difereix amb els valors donats per la AEMET, indicant que podria ser un dels motius d'aquesta diferència entre els dos mètodes. Tot i així veiem certa semblança en els resultats dels dos procediments que ens ajuden a corroborar que els càlculs estan ben fets.

Com era d'esperar els pavellons amb obstacles, que fa que hi hagi menys plaques produeixen menys energia. En un estudi més avançat d'aquesta instal·lació seria bo estudiar més a fons aquest fet. Es podria deixar d'invertir en la superfície d'aquest pavelló i conformar-se amb només un o dos d'ells. Això faria que es tingués menys energia però potser que abaratís els costos i el temps de planificació i disseny. O fins i tot si valdria la pena invertir diners en canviar o treure els obstacles per tal de poder ocupar tota la superfície de la teulada.

El conjunt de la energia, calculada pel mètode analític, dels tres pavellons serà de **114.550,2 kWh** anuals.

10. Impacte ambiental

El balanç del impacte ambientals dels panells solars és positiu tot i que hi hagin certs procediments d'aquest procés d'obtenció d'energia que generin un impacte agressiu pel medi ambient. Com altres energies renovables és una font inesgotable. Enfront dels combustibles fòssils és molt menys perjudicial per al medi ambient.

Els efectes de l'energia solar fotovoltaica sobre els principals factors ambientals són els següents:

- Atmosfera: La generació d'energia elèctrica directament a partir de la llum solar no requereix cap tipus de combustió, de manera que no es produeix pol·lució tèrmica ni emissions de CO₂ que afavoreixen l'efecte hivernacle.
- Aigües superficials i subterrànies: No es produeix alteració dels aqüífers o de les aigües superficials ni per consum, ni per contaminació per residus o abocaments.
- Fauna i flora: La repercussió sobre la vegetació és gairebé nul·la: A més al eliminar les línies elèctriques s'eviten els possibles efectes perjudicials per als ocells.
- Paisatge: Els panells solars tenen diferents possibilitats d'integració, el que fa que siguin un element fàcil d'integrar i harmonitzar en diferents tipus d'estructures, minimitzant el seu impacte visual. A més, en tractar-se de sistemes autònoms, no s'altera el paisatge amb pals i línies elèctriques. Tot i que a l'hora de les grans centrals hi ha controvèrsia en el tema com passa amb els molins de vent.
- Geologia: Les cèl·lules fotovoltaïques es fabriquen amb silici, element obtingut de la sorra, molt abundant en la Natura i del qual no es requereixen quantitats significatives. Per tant, en la fabricació dels panells fotovoltaïcs no es produeixen alteracions en les característiques litològiques, topogràfiques o estructurals del terreny. S'extreu molt alumini i ferro que tot i ser reciclables cal tenir en compte que s'extreu 1,2 gr i 3,3 gr respectivament per kWh produït.

- Terreny: Les petites instal·lacions FV no produeixen contaminants, ni abocaments, ni moviments de terra, la incidència sobre les característiques fisicoquímiques del sòl és nul·la. Tot i així les grans centrals solars generen una degradació del terreny i sobretot una pèrdua molt elevada de terreny agrícola.
- Materials peril·losos: El procés de fabricació de panells fotovoltaics i els seus components associats (per exemple, inversors) conté alguns materials peril·losos. L'alliberament d'aquests materials peril·losos per al medi ambient amb freqüència es considera el més important impacte ambiental negatiu dels grans i petits sistemes fotovoltaics. La majoria s'utilitza per netejar i purificar la superfície de semiconductors de cèl·lules fotovoltaïques. Aquests productes químics són similars als utilitzats en la indústria de semiconductors general i inclouen:
 - Àcid clorhídric
 - Àcid sulfúric
 - Àcid nítric
 - Fluorur d'hidrogen
 - 1,1,1-tricloroetà
 - Acetona

Veiem que la nostra instal·lació té un impacte mediambiental positiu, degut a que té poc afecte en els medis que es mencionaven, i els que té la majoria són positius comparats amb altres mètodes d'obtenció d'energia. Finalment, cal mencionar que gràcies a la producció d'energia d'aquesta instal·lació, la ETSEIB consumeix menys energia de la xarxa elèctrica que segurament ve produïda per aquests mètodes que es comentava que tenen un impacte ambiental molt més gran i negatiu que l'energia solar.

11. Estudi econòmic

Per finalitzar amb el projecte de la instal·lació solar fotovoltaica cal fer un estudi econòmic. D'aquesta manera sabrem el cost d'aquest disseny i es tindrà un cost orientatiu per si es volgués duu a terme aquest projecte. Podria ajudar a una remodelació d'aquest disseny o per seguir estudiant l'energia solar per la UPC i el Campus Sud. A més ens permetrà saber quin és el temps que ha de transcorre perquè s'amortitzi la instal·lació.

Primer de tot es farà el pressupost general de tot el estudi. És a dir, es tindrà en compte tots els recursos que s'han utilitzat siguin humans o tecnològics i també si sumarà el preu de tots els elements físics que necessita aquesta instal·lació. El cost dels elements de la instal·lació mencionats durant l'estudi (Taula 12) i els dels recursos humans i tecnològics (Taula 13) serà:

Quantitat	Element	Cost unitari (€/unitat)	Cost total (€)
265	Panell solar	131,38	34.815,70
26	Estructura de suport de 10 panells	515,06	13.391,56
1	Estructura de suport de 5 panells	282,54	282,54
3	Inversor	3.943,00	11.829,00
525 m	Cable de 4 mm ²	1,27	666,75
30 m	Cable de 16 mm ²	1,80	54,00
1	Posada a terra	600,00	600,00
TOTAL			61.639,00 €

Taula 12. Cost dels elements de la instal·lació.

Quantitat	Recurs humà o tecnològic	Cost unitari(€/h)	Cost total(€)
100 h	Hores de càlculs	25,00	2.500,00
50 h	Hores de disseny	25,00	1.250,00
100 h	Hores de redacció	25,00	2.500,00
100 h	Hores de recerca	25,00	2.500,00
350 h	Ordinador amb servei d'Internet i llicència d'Office i programes de simulació.	5,00	1.750,00
TOTAL			10.500,00 €

Taula 13. Cost dels recursos humans i tecnològics utilitzats per la instal·lació

Pels costos dels elements s'ha agafat el preu que s'havia trobat quan es feia la cerca dels elements a l'hora de dissenyar la instal·lació. En alguns d'ells el preu es troba a la fitxa tècnica o a la web on aquesta fitxa ha sigut trobada. Pel que fa al manteniment s'ha utilitzat el que diu l'ajuntament de Barcelona que cal per mantenir una superfície d'energia solar fotovoltaica a la ciutat. Pels costos dels recursos, s'ha separat la feina d'estudi i realització del projecte en quatre parts que es poden apreciar clarament a la Taula 12. Es considera que s'hi ha dedicat 300 h i que un enginyer jove, cobraria uns 25 €/h.

El cost total del projecte serà de 72.139,55 €.

Cal veure si la inversió és bona, per tant caldrà fer un anàlisi per comparar l'energia que es produeix amb la que normalment es consumeix, i veure quin és l'estalvi econòmic, per després poder veure quants anys es tardaran en recuperar la inversió inicial feta. Tot això en cas de tirar-se el projecte endavant, això és només un estudi teòric. (Figura 12)

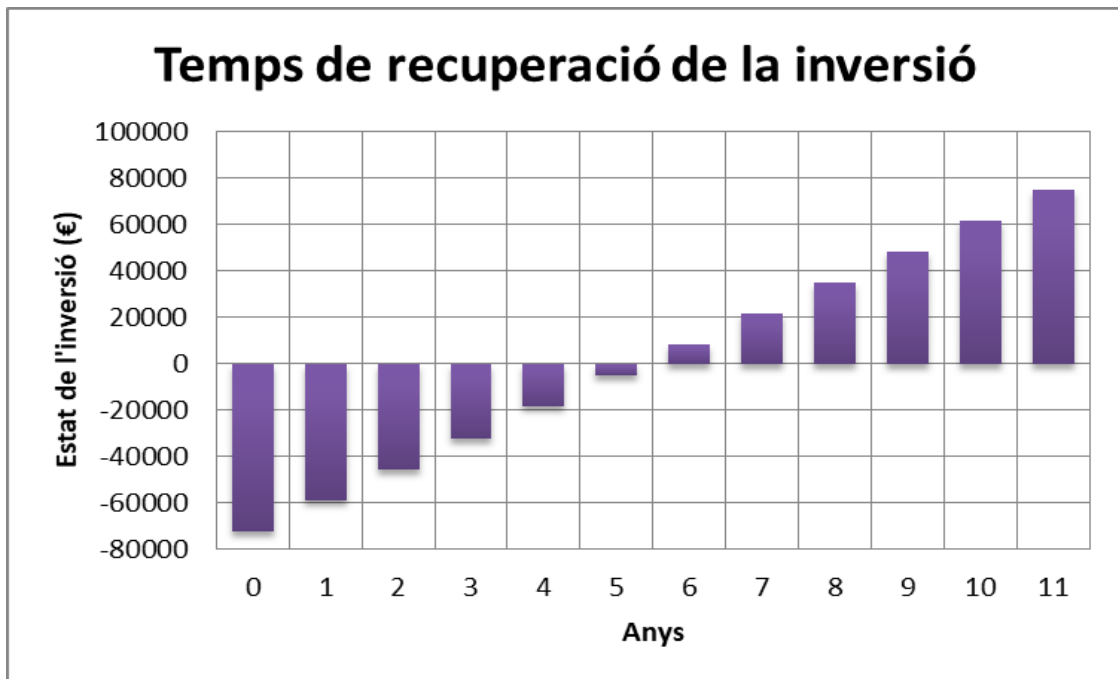


Figura 12. Progressió de la inversió durant els anys.

S'ha considerat que tota l'energia generada per la instal·lació era el consum anual per tal de simplificar els càlculs. Aleshores suposant que el preu de l'energia és de 0,13 €/kWh, s'ha calculat el que s'estava estalviant de pagar cada any. A més considerem que es paguen els 1500 € de manteniment cada any després de la inversió. I d'aquesta manera veiem com es recupera la inversió en un termini de 6 anys. Aquesta inversió sembla bastant optimista. Cal tenir en compte que l'estudi realitzat utilitza pocs recursos, només s'utilitza una persona i un programa. Les hores utilitzades també estan limitades i per tant no ens queda un pressupost en quan a recursos molt elevat. Tot això i la alta generació d'energia de la instal·lació fan que la inversió es pugui recuperar amb certa facilitat tot i el que s'esperava.

Conclusions

L'estudi de la instal·lació solar fotovoltaica pel Campus Sud de la UPC fa que es tingui una visió més àmplia del que és un estudi d'aquestes dimensions. A més porta a fer-se vàries preguntes i a analitzar un seguit de coses que ajuden al progrés com a enginyer. Es creu, doncs, que s'han assolit els objectius que es plantejaven abans del treball.

Centrant-nos en el projecte principal, arribem a la conclusió de que és viable, tot i que cal analitzar el pressupost del que disposa la universitat i del que en un futur disposarà per tal d'assegurar al 100% si seria bo tirar-lo endavant. Cal destacar també que han calgut fer moltes aproximacions durant tot el treball ja fos per falta d'informació o per falta de coneixement. S'ha hagut de fer una cerca intensa per tal de resoldre els dubtes que sorgien. Tal com es comentava en l'anàlisi econòmic, aquest projecte es podria duu a terme amb molts més recursos i més personal, que suposaria un augment del pressupost però a la vegada farien que tot estigués ben comprovat i exacte.

El dimensionament de la instal·lació es creu que ha sigut correcte tot i les aproximacions mencionades. S'han comprovat els càlculs varies vegades i s'han estudiat totes les opcions possibles. Tot i que encara es podria analitzar millor els espais dels que es disposa i quines distàncies de seguretat, entre plaques i la orientació d'aquestes s'ha de tenir. D'aquesta manera, encara que no es millorés la producció d'energia quedaria una instal·lació ben ordenada i amb el màxim aprofitament de l'espai. Sempre respectant totes les mesures de seguretat. Es creu que la distribució plantejada és molt bona ja que aprofita unes cobertes que no es fan servir. Es simplifica la instal·lació al posar les files de plaques en transversal. A més la gran superfície dels sostres i la gran radiació que reben permet que es produeixi molta energia.

Pel que fa les connexions i tot el necessari per fer-les ha sigut molt complex per falta de coneixement i recursos. Com passava amb el dimensionament es creu que l'estudi podria aprofundir-se més en un futur amb recursos de qualitat.

La producció d'energia ha sigut l'esperada donada la potència elevada de la que es disposava. Les simulacions han corroborat aquesta producció d'energia. Hem pogut veure que les pèrdues eren mínimes. Tant per l'angle d'inclinació i orientació com les pèrdues per ombres.

Finalment, s'ha pogut veure la viabilitat del projecte, que fa pensar que valdria la pena invertir en un altre estudi molt més ampli i complex. Així doncs podríem dir que el objectiu d'aquest treball pel que fa aquest aspecte ha quedat complert.

Agraïments

Agraeixo al meu tutor de treball per la confiança dipositada amb mi i per la seva disposició a ajudar-me i sobretot per haver-me ajudat a trobar un nou tema quan el primer projecte que havíem plantejat no es podia dur a terme.

Agrair també a la meva família i a la Laia el seu suport durant tot el treball.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] DELOITTE, UNEF. La Energia Solar Fotovoltaica en España. Desarrollo Actual y Potencial.

https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/10/unef-deloitte-analisis-economico.pdf [08/04/2019]

[2] IEA PVPS. 2018 Snapshot of Global Photovoltaic Markets.

http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf [08/04/2019]

[3] IOC. Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques.

https://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801_IEA/IEA_0801_M06/web/html/media/fp_iea_m06_u1_pdfindex.pdf [09/04/2019]

[4] ENERGIA SOLAR. Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red.

<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

[5] KRANNICH. Instalaciones solares híbridas fotovoltaicas. Grupos electrógenos sin acumulación.

<https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/pv-diesel/pv-diesel-sin-baterias.html> [15/04/19]

[6] IDAE, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. [10/5/2019]

[7] IRENA. International Renewable Energy Agency Available [10/5/19]

[8]AUTOSOLAR.<https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-solar-280w-policristalino-bauer> [20/5/2019]

[9] ALBASOLAR. <https://albasolar.es/productos-energia-solar/inversores-conexion-red/> [30/5/2019]

[10]COELECTRIX.<https://coelectrix.com/que-amperaje-soporta-un-cable-electrico> [30/5/2019]

[11]ICAEN. Quadern 4. Energia solar fotovoltaica.

http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/04_energia_solar_fotovoltaica.pdf [12/6/19]

[12] T. Tsoutsos, N. Frantzeskaki, and V. Gekas, "Environmental impacts from the solar energy technologies," Energy Policy, vol. 33, pp. 289-296, 2005. [12/6/19]

Bibliografia complementària

[13]AJUNTAMENT DE BARCELONA.<http://energia.barcelona/ca/quanta-energia-pots-generar> (08/03/2019)

[14]AEMET.http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf [31/05/19]

[15]<https://www.upc.edu/ca/media/la-upc/campus-territori/upc-campus-sud.png>
(08/03/2019)

[16]PVGIS.<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> (08/03/2019)

[17]EDITEX.<https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=ayq8AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=tipo+de+placas+solares+fotovoltaicas&ots=LHAnwK03XP&sig=YGI71UkiCJVHDHgD4sEmFp8QV0E#v=onepage&q&f=false> [4/6/19]

[18]CIEMAT.http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
[30/5/19]

[19]ICT.[http://www.ictonline.es/ictnol/ictnol?accio=cercardl&idservei=*0e0B\(ywDfVCDCu\(&menu=1](http://www.ictonline.es/ictnol/ictnol?accio=cercardl&idservei=*0e0B(ywDfVCDCu(&menu=1) [30/5/19]

[20]SOLARMAT.<http://solarmat.es/es/estructura-solar-para-cubierta-plana/estructura-soporte-cubierta-plana-35-10-modulos-verticales.html> [4/6/19]

[21] UPC. <https://sirenaupc.dexcell.com/login.htm> [12/6/19]